

Документ подписан электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич  
Должность: врио ректора  
Дата подписания: 10.07.2024 12:02:41  
Уникальный программный ключ:  
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc2ad1bf35f08

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**ФГБОУ ВО «ТВЕРСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Утверждаю:



Руководитель ООП

Б.Б.Педько

«21» мая 2024 г.

Рабочая программа дисциплины

**Кристаллография**

Закреплена за кафедрой: **Физики конденсированного состояния**

Направление подготовки: **03.03.02 Физика**

Направленность (профиль): **Физика, технологии и компьютерное моделирование функциональных материалов**

Квалификация: **Бакалавр**

Форма обучения: **очная**

Семестр: **4**

Программу составил(и):

*д-р физ.-мат. наук, проф., Солнышкин Александр Валентинович; канд. физ.-мат. наук, доц., Большакова Наталья Николаевна*

Тверь, 2024

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

### Цели освоения дисциплины (модуля):

Изучение на основании свойств симметрии кристаллической структуры, кристаллических и кристаллофизических свойств твердых тел схему их классификации.

### Задачи:

- Формирование у обучающихся представлений об основных законах кристаллографии, принципах построения кристаллографических проекций, элементах симметрии кристаллических многогранников и структур, принципах классификации кристаллов по кристаллографическим системам, категориям и сингониям, основных системах и символиках описания точечных и пространственных групп кристаллов;
- приобретение практического опыта описания особенностей симметрии различных точечных и пространственных кристаллографических классов и групп, объяснения влияния вида симметрии на физические свойства кристаллов, решения задач;
- применение полученных знаний и навыков при освоении профильных дисциплин, а также в практической и профессиональной деятельности.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП

Цикл (раздел) ОП: Б1.В

### Требования к предварительной подготовке обучающегося:

Математический анализ

Векторный и тензорный анализ

**Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:**

Физика конденсированного состояния вещества

Физика магнитных явлений

Физика полупроводников

## 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

<b>Общая трудоемкость</b>	2 ЗЕТ
Часов по учебному плану	72
<b>в том числе:</b>	
аудиторные занятия	48
самостоятельная работа	16

## 4. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

ПК-3.1: Осуществляет анализ структуры материалов

УК-1.1: Анализирует задачу, выделяя ее базовые составляющие

## 5. ВИДЫ КОНТРОЛЯ

Виды контроля в семестрах:	
зачеты	4

## 6. ЯЗЫК ПРЕПОДАВАНИЯ

Язык преподавания: русский.

## 7. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Код занят.	Наименование разделов и тем	Вид занятия	Семестр / Курс	Часов	Источники	Примечание
	Раздел 1. 1. Введение					
1.1	Знакомство со специальностью и ее учебным планом кафедрой. Место физики конденсированного состояния вещества в современной физической науке и ее предмет. Общие свойства твердых тел. Кристаллические и аморфные твердые тела. Предмет и задачи кристаллографии.	Лек	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
1.2	Анизотропия и симметрия кристаллов. Структура кристаллов и пространственная решетка. Закон постоянства углов кристаллов.	Лек	4	2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
1.3	Анизотропия и симметрия кристаллов. Структура кристаллов и пространственная решетка. Закон постоянства углов кристаллов.	Ср	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
1.4	Метод кристаллографического индцирования. Индексы Миллера. Закон целых чисел Гаюи.	Лек	4	2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
1.5	Метод кристаллографического индцирования. Индексы Миллера. Закон целых чисел Гаюи.	Пр	4	2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
1.6	Метод кристаллографического индцирования. Индексы Миллера. Закон целых чисел Гаюи.	Ср	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
1.7	Кристаллографические проекции.	Лек	4	2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
1.8	Кристаллографические проекции.	Пр	4	2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
1.9	Сферическая, стереографическая, гномостереографическая, гномоническая проекции и соотношения между ними. Сетка Вульфа.	Лек	4	2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	

1.10	Сферическая, стереографическая, гномостереографическая, гномоническая проекции и соотношения между ними. Сетка Вульфа.	Лек	4	2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
1.11	Элементы симметрии кристаллических многогранников. Операции и элементы симметрии I-го и II-го рода. Невозможность осей 5-го порядка и порядка более 6. Теоремы о сочетании операций симметрии.	Лек	4	2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
1.12	Элементы симметрии кристаллических многогранников. Операции и элементы симметрии I-го и II-го рода. Невозможность осей 5-го порядка и порядка более 6. Теоремы о сочетании операций симметрии.	Ср	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
1.13	32 классов симметрии. Понятия точечной группы симметрии. Точечные группы (классы симметрии) и системы обозначений. Формулы симметрии. Международные классы симметрии. Символы Шенфлиса.	Лек	4	2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
1.14	32 классов симметрии. Понятия точечной группы симметрии. Точечные группы (классы симметрии) и системы обозначений. Формулы симметрии. Международные классы симметрии. Символы Шенфлиса	Ср	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
1.15	Матричные представления преобразований симметрии. Кристаллографические категории сингонии и системы координат. Правила записи символов точечных групп в различных категориях.	Лек	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
1.16	Матричные представления преобразований симметрии. Кристаллографические категории сингонии и системы координат. Правила записи символов точечных групп в различных категориях.	Ср	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	

1.17	Вывод и описание 32 классов симметрии кристаллов. Классификация 32 классов симметрии кристаллов по характеру симметрии. Наличие и отсутствие центра симметрии. Энантиморфизм. Лауэвские классы симметрии. Кратность точечной группы. Понятие подгруппы. Голоэдриа. Мероэдриа. Распределение кристаллов по классам симметрии.	Лек	4	2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
1.18	Вывод и описание 32 классов симметрии кристаллов. Классификация 32 классов симметрии кристаллов по характеру симметрии. Наличие и отсутствие центра симметрии. Энантиморфизм. Лауэвские классы симметрии. Кратность точечной группы. Понятие подгруппы. Голоэдриа. Мероэдриа. Распределение кристаллов по классам симметрии.	Пр	4	2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
1.19	Вывод и описание 32 классов симметрии кристаллов. Классификация 32 классов симметрии кристаллов по характеру симметрии. Наличие и отсутствие центра симметрии. Энантиморфизм. Лауэвские классы симметрии. Кратность точечной группы. Понятие подгруппы. Голоэдриа. Мероэдриа. Распределение кристаллов по классам симметрии.	Ср	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
1.20	Предельные группы симметрии. Принцип симметрии в кристаллофизике. принцип Кюри. Принцип Неймана. принцип суперпозиции Кюри. Указательная поверхность.	Лек	4	2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
1.21	Предельные группы симметрии. Принцип симметрии в кристаллофизике. принцип Кюри. Принцип Неймана. принцип суперпозиции Кюри. Указательная поверхность.	Пр	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	

1.22	Формы кристаллов. Физические различные формы кристаллов. Определение символов граней по методу косинусов. Символы граней кристаллов гексагональной и тригональной сингоций. Символы Миллера-Бравэ. Определение символов направлений (ребер). Связь между символами граней и ребер в кристаллах. Закон зон. Символы симметричных граней простых форм. Перестановка индексов.	Лек	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
1.23	Формы кристаллов. Физические различные формы кристаллов. Определение символов граней по методу косинусов. Символы граней кристаллов гексагональной и тригональной сингоций. Символы Миллера-Бравэ. Определение символов направлений (ребер). Связь между символами граней и ребер в кристаллах. Закон зон. Символы симметричных граней простых форм. Перестановка индексов.	Ср	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
1.24	Кристаллографические группы антисимметрии.	Пр	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
1.25	Кристаллографические группы антисимметрии.	Ср	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
	Раздел 2. 2. Симметрия структуры кристаллов					
2.1	Решетки Бравэ. 4 типа решеток Браве. Трансляционная группа. Базис ячейки Бравэ. Ячейка Вигнера-Зейтца.	Лек	4	2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
2.2	Элементы симметрии структуры кристаллов.	Лек	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
2.3	Элементы симметрии структуры кристаллов.	Пр	4	2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	

2.4	Элементы симметрии структуры кристаллов.	Ср	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
2.5	Теоремы о сочетании операций симметрии структур. Пространственные (Федоровские) группы симметрии. Правила записи международного символа пространственной группы. правильная система точек и ее кратность. Частная и общая правильные системы точек. Распределение кристаллов по 230 пространственным группам.	Пр	4	2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
2.6	Теоремы о сочетании операций симметрии структур. Пространственные (Федоровские) группы симметрии. Правила записи международного символа пространственной группы. правильная система точек и ее кратность. Частная и общая правильные системы точек. Распределение кристаллов по 230 пространственным группам.	Ср	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
2.7	Обратная решетка. Основные расчетные формулы кристаллографии.	Лек	4	2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
	Раздел 3. 3. Дифракция в кристаллах					
3.1	Микроскопическое изображение кристалла. классификация дифракционных методов исследования кристаллов по виду использованного излучения.	Лек	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
3.2	Микроскопическое изображение кристалла. классификация дифракционных методов исследования кристаллов по виду использованного излучения.	Ср	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	

3.3	Формула Вульфа-Брегга дифракции рентгеновских лучей на кристалле. Условия (уравнения) Лауэ дифракции рентгеновских лучей на кристалле. Эквивалентность условия дифракции Вульфа-Брегга и Лауэ. Правила отбора.	Лек	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
3.4	Формула Вульфа-Брегга дифракции рентгеновских лучей на кристалле. Условия (уравнения) Лауэ дифракции рентгеновских лучей на кристалле. Эквивалентность условия дифракции Вульфа-Брегга и Лауэ. Правила отбора.	Пр	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
3.5	Формула Вульфа-Брегга дифракции рентгеновских лучей на кристалле. Условия (уравнения) Лауэ дифракции рентгеновских лучей на кристалле. Эквивалентность условия дифракции Вульфа-Брегга и Лауэ. Правила отбора.	Ср	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
3.6	Построение (сфера) Эвальда. Экспериментальные (дифракционные) методы исследования структуры кристаллов: метод Лауэ, метод вращающегося кристалла, порошковый метод (метод Дебая-Шеррера). Зоны Бриллюэна.	Лек	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
3.7	Построение (сфера) Эвальда. Экспериментальные (дифракционные) методы исследования структуры кристаллов: метод Лауэ, метод вращающегося кристалла, порошковый метод (метод Дебая-Шеррера). Зоны Бриллюэна.	Ср	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
	Раздел 4. 4. Основные представления о росте кристаллов					
4.1	Равновесная форма кристаллов. Реальные формы роста кристаллов. Закономерные сrostки. Двойники. Эпитаксия. Основные представления о методах выращивания кристаллов.	Пр	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	



4.2	Равновесная форма кристаллов. Реальные формы роста кристаллов. Закономерные сростки. Двойники. Эпитаксия. Основные представления о методах выращивания кристаллов.	Ср	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
	Раздел 5. 5. Влияние вида симметрии на возможность возникновения свойств					
5.1	Симметрия кристалла и симметрия физического процесса. Характеристические группы кристаллографических видов симметрии. Основные признаки характеристических групп кристаллов. Группа А: наличие центра симметрии. 11 центр симметричных видов симметрии. Группа В: отсутствие центра симметрии. Вид симметрии и пьезоэлектричество Группа С: единственная полярная ось. Вид симметрии и пьезоэлектричество. Вид симметрии и сегнетоэлектричество	Лек	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
5.2	Симметрия кристалла и симметрия физического процесса. Характеристические группы кристаллографических видов симметрии. Основные признаки характеристических групп кристаллов. Группа А: наличие центра симметрии. 11 центр симметричных видов симметрии. Группа В: отсутствие центра симметрии. Вид симметрии и пьезоэлектричество Группа С: единственная полярная ось. Вид симметрии и пьезоэлектричество. Вид симметрии и сегнетоэлектричество	Пр	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	

5.3	Симметрия кристалла и симметрия физического процесса. Характеристические группы кристаллографических видов симметрии. Основные признаки характеристических групп кристаллов. Группа А: наличие центра симметрии. 11 центр симметричных видов симметрии. Группа В: отсутствие центра симметрии. Вид симметрии и пьезоэлектричество Группа С: единственная полярная ось. Вид симметрии и пьезоэлектричество. Вид симметрии и сегнетоэлектричество	Ср	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3
5.4	Двойное лучепреломление и поляризация света кристаллами. Оптические индикатрисы кубических кристаллов, кристаллов средних и низших сингоний. группа D: отсутствие плоскостей симметрии. Вид симметрии и оптическая активность. Вращение плоскости поляризации.	Лек	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3
5.5	Двойное лучепреломление и поляризация света кристаллами. Оптические индикатрисы кубических кристаллов, кристаллов средних и низших сингоний. группа D: отсутствие плоскостей симметрии. Вид симметрии и оптическая активность. Вращение плоскости поляризации.	Пр	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3
5.6	Влияние вида симметрии на зависимость величины векторного свойства от направления. Симметрия тепловых пречесов в кристаллах. тепловое расширение кристаллов. Теплопроводность кристаллов. Законы Фриделя.	Лек	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3

5.7	Влияние вида симметрии на зависимость величины векторного свойства от направления. Симметрия тепловых пречесов в кристаллах. тепловое расширение кристаллов. Теплопроводность кристаллов. Законы Фриделя.	Ср	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3
-----	---	----	---	---	--------------------------------------

## 8. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

### 8.1. Оценочные материалы для проведения текущей аттестации

Оценочные материалы для проведения текущей аттестации приведены в приложении 2

### 8.2. Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации

Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации приведены в приложении 2

### 8.3. Требования к рейтинг-контролю

Требования к рейтинг-контролю приведены в приложении 2

## 9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

### 9.1. Рекомендуемая литература

#### 9.1.1. Основная литература

Шифр	Литература
Л1.1	Епифанов Г. И., Физика твердого тела, Санкт-Петербург: Лань, 2022, ISBN: 978-5-8114-1001-9, URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/210671">https://e.lanbook.com/book/210671</a>
Л1.2	Матухин В. Л., Ермаков В. Л., Физика твердого тела, Санкт-Петербург: Лань, 2022, ISBN: 978-5-8114-0923-5, URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/210305">https://e.lanbook.com/book/210305</a>

#### 9.1.2. Дополнительная литература

Шифр	Литература
Л2.1	Юшкова, Надолько, Безруких, Основы кристаллографии, Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2020, ISBN: 978-5-7638-4181-7, URL: <a href="https://znanium.com/catalog/document?id=381937">https://znanium.com/catalog/document?id=381937</a>
Л2.2	Басалаев Ю. М., Кристаллофизика и кристаллохимия, Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2014, ISBN: 978-5-8353-1712-7, URL: <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=278304">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=278304</a>

### 9.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет"

Э1	ЭБС «ИНФРА-М»: <a href="http://www.znanium.com">http://www.znanium.com</a>
Э2	ЭБС «Университетская библиотека ОН-ЛАЙН»: <a href="http://www.biblioclub.ru">http://www.biblioclub.ru</a>
Э3	ЭБС «ЛАНЬ»: <a href="http://e.lanbook.com">http://e.lanbook.com</a>

### 9.3.1 Перечень программного обеспечения

1	Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows
2	Adobe Acrobat Reader
3	Google Chrome
4	WinDjView
5	OpenOffice
6	Foxit Reader

### 9.3.2 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1	ЭБС BOOK.ru
2	ЭБС ТвГУ
3	ЭБС «Лань»
4	ЭБС IPRbooks
5	ЭБС «Университетская библиотека онлайн»
6	ЭБС «ЮРАИТ»
7	ЭБС «ZNANIUM.COM»

## 10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Аудит-я	Оборудование
3-35	комплект учебной мебели, экран настенный, переносной ноутбук, проекторы
3-4а	компьютеры, проектор, экран, переносной ноутбук, сумка для ноутбука, коммутатор, видеокамеры

## 11. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля) приведены в приложении 1

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

**Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов:**

Самостоятельная работа студентов предполагает:

- обязательное выполнение домашних заданий, предусмотренных лекционными и лабораторными занятиями;
- углубленное изучение литературы и решение задач по пройденным темам и по вопросам, дополнительно указанным преподавателем;
- использование материалов рабочей программы для систематизации знаний и подготовке к занятиям и контрольным работам.

Перечень вопросов для систематизации знаний:

1. Структура кристалла и пространственная решетка.
2. Понятие симметрии и симметричного многогранника. Элементы симметрии кристаллических многогранников.
3. Закон постоянства углов кристаллов. Гониометрические методы исследования кристаллов.
4. Простые точечные операции и элементы симметрии (плоскость симметрии, оси симметрии, центр симметрии). Невозможность существования в кристаллах осей симметрии 5-го порядка и порядка больше 6-ти.
5. Метод кристаллографического индизирования. Символы узлов. Символы рядов (ребер). Символы плоскостей (граней).
6. Операции и элементы симметрии 2-го рода: инверсионные и зеркально-поворотные оси симметрии.
7. Параметры Вейса и индексы Миллера.
8. Правила отыскания элементов симметрии кристаллических многогранников.
9. Закон целых чисел Гаюи.
10. Сочетания операций симметрии. Теорема о сочетании операций симметрии кристаллических многогранников.
11. Кристаллографические проекции: сферическая, стереографическая, гномостереографическая и гномоническая.
12. Понятие о классах и точечных группах симметрии кристаллических многогранников. 32 класса симметрии. Обозначение классов симметрии (формула симметрии, международные символы). Распределение кристаллов по классам симметрии.

5. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Наряду с другими дисциплинами учебного плана дисциплина «Кристаллография» участвует в формировании профессиональных компетенций УК-1 «Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач» и ПК-3 «Способен сопровождать типовые технологические процессы в области материаловедения и технологии материалов».

**Форма проведения промежуточного контроля:** студенты, освоившие программу курса могут получить зачет по итогам семестровой и полусеместровой рейтинговой аттестации согласно «Положению о рейтинговой системе обучения ТвГУ» (протокол №8 от 30 апреля 2020 г.).

Если условия «Положения о рейтинговой системе ...» не выполнены, то зачет сдается согласно «Положению о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) обучающихся по программам высшего образования ТвГУ» (протокол №11 от 28 апреля 2021 г.)

Зачет выставляется по результатам рейтинг-контроля. Студентам, не набравшим необходимое число баллов (40), предоставляется возможность ответить на дополнительные вопросы и выполнить дополнительные задания из банка вопросов и заданий, приведенного ниже.

**Шкала оценивания:** Максимальная оценка каждого студента по итогам ответа на вопросы и результатам выполнения задания составляет 50 баллов. Она складывается из оценки уровня знаний (максимум 25 баллов), умений (максимум 15 баллов) и владений (максимум 10 баллов).

**1. Типовые контрольные задания для проверки уровня сформированности универсальной компетенции УК-1: Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач**

Этап формирования компетенции, в котором участвует дисциплина	Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков	Показатели и критерии оценивания компетенции, шкала оценивания
---	--	--

Начальный владеть	<p>Продemonстрировать навыки владения материалом по основным законам кристаллографии.</p> <p><i>Пример.</i> Описать место физики конденсированного состояния вещества в современной физической науке и ее предмет. Предмет и задачи кристаллографии</p>	
Начальный уметь	<p>Продemonстрировать умение описать особенности симметрии различных точечных и пространственных кристаллографических классов и групп,</p> <p><i>Пример.</i> Для описания различных физических явлений в реальных кристаллах, использовать теорию дефектов</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Имеется полный ответ – 3 балла</li> <li>• Ответ недостаточно обоснован – 2 балла</li> <li>• Дан неверный ответ – 0 баллов</li> </ul>
Начальный знать	<p>Продemonстрировать знания по построениям кристаллографических проекций, элементы симметрии кристаллических многогранников и структур.</p> <p><i>Пример.</i> Описать принципы классификации кристаллов по кристаллографическим системам, категориям и сингониям, основные расчетные формулы кристаллографии</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ответ отобран из источников, содержание ответа полное -2 балла.</li> <li>• Ответ изложен недостаточно четко-1 балл.</li> <li>• Ответ изложен с физическими ошибками – 0 баллов.</li> </ul>
Промежуточный владеть	<p>Продemonстрировать навыки владения материалом по формам кристаллов.</p> <p><i>Пример.</i> Описать физические различные формы кристаллов.</p>	
Промежуточный уметь	<p>Продemonстрировать умение пользоваться моделью обратной решетки, объяснять влияние вида симметрии на возможность возникновения физических свойств</p> <p><i>Пример.</i> Описать матричные представления преобразований симметрии. Кристаллографические категории сингонии и системы координат. Правила записи символов точечных групп в различных категориях.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Имеется полный ответ – 3 балла</li> <li>• Ответ недостаточно обоснован – 2 балла</li> <li>• Дан неверный ответ – 0 баллов</li> </ul>
Промежуточный знать	<p>Продemonстрировать знания по основным принципы роста кристаллов, основные системы и символики описания точечных и пространственных групп кристаллов, основные типы дефектов в реальных кристаллах.</p> <p><i>Пример.</i> Симметрия кристалла и симметрия физического процесса. Характеристические группы кристаллографических видов симметрии..</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ответ отобран из источников, содержание ответа полное -2 балла.</li> <li>• Ответ изложен недостаточно четко-1 балл.</li> <li>• Ответ изложен с физическими ошибками – 0 баллов.</li> </ul>

**Список вопросов и заданий для проверки уровня сформированности универсальной компетенции УК-1:** Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач

Для оценивания результатов обучения в виде владений предлагается рассмотреть следующие темы:

1. Структура кристалла и пространственная решетка.
2. Понятие симметрии и симметричного многогранника.
3. Элементы симметрии кристаллических многогранников.
4. Закон постоянства углов кристаллов.
5. Гониометрические методы исследования кристаллов.
6. Простые точечные операции и элементы симметрии (плоскость симметрии, оси симметрии, центр симметрии).
7. Невозможность существования в кристаллах осей симметрии 5-го порядка и порядка больше 6-ти.

Для оценивания результатов обучения в виде умений предлагается продемонстрировать следующие навыки решения типичных примеров:

1. Метод кристаллографического индизирования. Символы узлов. Символы рядов (ребер).
2. Символы плоскостей (граней).
3. Операции и элементы симметрии 2-го рода: инверсионные и зеркально-поворотные оси симметрии.
4. Параметры Вейса и индексы Миллера.
5. Правила отыскания элементов симметрии кристаллических многогранников.
6. Закон целых чисел Гаюи.
7. Сочетания операций симметрии.
8. Теорема о сочетании операций симметрии кристаллических многогранников.

Для оценивания результатов обучения в виде знаний предлагается ответить на следующие вопросы:

1. Кристаллографические проекции: сферическая, стереографическая, гномостереографическая и гномоническая.
2. Понятие о классах и точечных группах симметрии кристаллических многогранников. 32 класса симметрии.
3. Обозначение классов симметрии (формула симметрии, международные символы).
4. Распределение кристаллов по классам симметрии.
5. Соотношения между сферической, стереографической, гномостереографической и гномонической. Сетка Вульфа.
6. Матричные представления преобразований симметрии.

**2. Типовые контрольные задания для проверки уровня сформированности профессиональной компетенции ПК-3:** Способен сопровождать типовые технологические процессы в области материаловедения и технологии материалов

Этап формирования компетенции, в котором участвует дисциплина	Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков	Показатели и критерии оценивания компетенции, шкала оценивания
Начальный владеть	Продemonстрировать навыки владения материалом по влиянию вида симметрии на возможность возникновения свойств. <i>Пример.</i> Описать симметрию кристалла и симметрию физического процесса.	
Начальный уметь	Продemonстрировать умение описать характеристические группы кристаллографических видов симметрии. Основные признаки характеристических групп кристаллов. <i>Пример.</i> Группа А: наличие центра симметрии. 11 centrosимметричных видов симметрии. Группа В: отсутствие центра симметрии.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Имеется полный ответ – 3 балла</li> <li>• Ответ недостаточно обоснован – 2 балла</li> <li>• Дан неверный ответ – 0 баллов</li> </ul>
Начальный знать	Продemonстрировать знания по виду симметрии и пьезоэлектричество. Вид симметрии и пироэлектричество. Вид симметрии и сегнетоэлектричество	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ответ отобран из источников, содержание ответа полное -2 балла.</li> </ul>

	<i>Пример.</i> Группа С: единственная полярная ось.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ответ изложен недостаточно четко-1 балл.</li> <li>• Ответ изложен с физическими ошибками – 0 баллов.</li> </ul>
Промежуточный <b>владеть</b>	<p>Продемонстрировать навыки владения материалом по распределению кристаллов по классам симметрии.</p> <p>Кристаллографические группы антисимметрии.</p> <p><i>Пример.</i> Описать принцип симметрии в кристаллофизике. принцип Кюри. Принцип Неймана.</p>	
Промежуточный <b>уметь</b>	Продемонстрировать умение определения символов граней по методу косинусов. <i>Пример.</i> Символы граней кристаллов гексагональной и тригональной сингоний. Символы Миллера-Бравэ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Имеется полный ответ – 3 балла</li> <li>• Ответ недостаточно обоснован – 2 балла</li> <li>• Дан неверный ответ – 0 баллов</li> </ul>
Промежуточный <b>знать</b>	<p>Продемонстрировать знания по связи между символами граней и ребер в кристаллах. Закон зон.</p> <p><i>Пример.</i> Описать символы симметричных граней простых форм. Перестановка индексов.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ответ отобран из источников, содержание ответа полное -2 балла.</li> <li>• Ответ изложен недостаточно четко-1 балл.</li> <li>• Ответ изложен с физическими ошибками – 0 баллов.</li> </ul>

**Список вопросов и заданий для проверки уровня сформированности профессиональной компетенции ПК-3:** Способен сопровождать типовые технологические процессы в области материаловедения и технологии материалов

Для оценивания результатов обучения в виде владений предлагается рассмотреть следующие темы:

1. Пространственные группы симметрии.
2. Правильная система точек.
3. Правила записи символов пространственных групп в различных сингониях.
4. аспределение кристаллов по 230 пространственным группам.
5. Эквивалентность условий Вульфа-Брэгга и Лауэ дифракции рентгеновских лучей на кристалле.
6. Построение (сфера отражения) Эвальда.
7. Принцип симметрии в кристаллофизике.
8. Экспериментальные дифракционные методы исследования кристаллов. Метод Лауэ.

Для оценивания результатов обучения в виде умений предлагается продемонстрировать следующие навыки решения типичных примеров:

1. Обратная решетка.
2. Экспериментальные дифракционные методы исследования кристаллов.
3. Метод вращения кристалла.
4. Основные расчетные формулы в кристаллографии.
5. Зоны Бриллюэна.
6. Микроскопическое изображение кристалла.
7. Дифракционные методы исследования структуры кристаллов.

Для оценивания результатов обучения в виде знаний предлагается ответить на следующие вопросы:

1. Основные представления о росте кристаллов.
2. Равновесная форма кристаллов. реальные формы роста кристаллов.
3. Закономерные сростки. и двойники.
4. Эптаксия.
5. Формула (закон) Вульфа-Брэгга.
6. Экспериментальные дифракционные методы исследования кристаллов. Метод Дебая-Шеррера.

**Требования к рейтинг-контролю**



Результаты промежуточной аттестации выставляются на основе текущего контроля успеваемости (рейтинг-контроль, баллы за выполненные практические задания суммируются) и по результатам зачета.

### Вопросы к рейтинг-контролю

1. Пространственные группы симметрии. Правильная система точек. Правила записи символов пространственных групп в различных сингониях. Распределение кристаллов по 230 пространственным группам.
2. Эквивалентность условий Вульфа-Брэгга и Лауэ дифракции рентгеновских лучей на кристалле. Построение (сфера отражения) Эвальда.
3. Принцип симметрии в кристаллофизике.
4. Экспериментальные дифракционные методы исследования кристаллов. Метод Лауэ.
5. Обратная решетка.
6. Экспериментальные дифракционные методы исследования кристаллов. Метод вращения кристалла.
7. Основные расчетные формулы в кристаллографии.
8. Зоны Бриллюэна.
9. Микроскопическое изображение кристалла. Дифракционные методы исследования структуры кристаллов.
10. Основные представления о росте кристаллов. Равновесная форма кристаллов. реальные формы роста кристаллов. Закономерные сростки. и двойники. Эпитаксия.

### Рейтинг

1. Первая контрольная точка. Содержание модуля 1: Раздел 1 – 3.

40 баллов, из них 20 – текущая работа, 10 – посещаемость, 10 – контрольная работа. 9-ая неделя.

2. Вторая контрольная точка. Содержание модуля 2: Раздел 4 – 7.

60 баллов, из них 40 – текущая работа, 10 – посещаемость, 10 – контрольная работа. 18-ая неделя

Критерии: работа на каждом практическом занятии – по 5 баллов (текущая работа), правильный ответ на один вопрос контрольной работы – 2 балла.

Программой предусматривается выполнение письменных контрольных работ и отчеты о выполнении студентами заданий на лабораторных занятиях в качестве форм рубежного контроля в конце каждого модуля. Для подготовки к рубежному контролю предполагается выполнение домашних заданий по каждой пройденной в течение модуля теме и использование банка контрольных вопросов и заданий рабочей программы.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 3

### 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

#### 6.1. Рекомендуемая литература

##### а) Основная литература:

1. Матухин, В. Л. Физика твердого тела : учебное пособие / В. Л. Матухин, В. Л. Ермаков. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 224 с. — ISBN 978-5-8114-0923-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/167762>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Епифанов, Г.И. Физика твердого тела [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2011. — 288 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/2023> .

##### б) Дополнительная литература:

1. Основы кристаллографии : учебное пособие / О. В. Юшкова, ). С. Белоногова, А. И. Надолько, Безруких. — Красноярск : СФУ, 2020. — 324 с. — ISBN 978-5-7638-4181-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/181556>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Матухин, В.Л. Физика твердого тела [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В.Л. Матухин, В.Л. Ермаков. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2010. — 224 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/262> .
3. Басалаев, Ю.М. Кристаллофизика и кристаллохимия [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Кемерово : КемГУ, 2014. — 403 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/61407> .
4. Сонин, А.С. Курс макроскопической кристаллофизики [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Москва : Физматлит, 2006. — 256 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/59408> .
5. Розин, К.М. Кристаллофизика. Учебное пособие [Электронный ресурс] : учеб. пособие / К.М. Розин, В.С. Петраков. — Электрон. дан. — Москва : МИСИС, 2006. — 249 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/51712> .

## ПРИЛОЖЕНИЕ 4

### 9. СВЕДЕНИЯ ОБ ОБНОВЛЕНИИ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ (ИЛИ МОДУЛЯ)

№ п.п.	Обновленный раздел рабочей программы дисциплины (модуля)	Описание внесенных изменений	Дата и протокол заседания, утвердившего изменения
1	Раздел IV	Скорректирован фонд оценочных средств для проверки уровня сформированности закрепленных за дисциплиной компетенций	Протокол Совета ФТФ №5 от 31 октября 2017 г
2	Раздел IV	Скорректированы задания для промежуточной аттестации в соответствии с обновленным «Положением о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) студентов ТвГУ»	Протокол Совета ФТФ №5 от 31 октября 2017 г.
3	Раздел V	Обновлен перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины	Протокол Совета ФТФ №5 от 31 октября 2017 г
4	Раздел IX	Оснащенность аудиторного фонда для проведения учебных занятий и самостоятельной работы студентов согласно «Справки МТО ООП ...»	Протокол Совета ФТФ №5 от 31 октября 2017 г
5	Раздел IV	Скорректирован фонд оценочных средств для проверки уровня сформированности закрепленных за дисциплиной компетенций	Протокол Совета ФТФ № 6 от 15.01.2019 г.
6	Раздел IV	Внесены изменения в соответствии с «Положением о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) обучающихся по программам высшего образования ТвГУ»	Протокол Совета ФТФ № 10 от 19.05.2020 г.
7	Раздел IV	Внесены изменения в соответствии с «Положением о рейтинговой системе обучения в ТвГУ»	Протокол Совета ФТФ № 10 от 19.05.2020 г.
8	Раздел IX	Актуализированы данные на основе Справки МТО ООП	Протокол Совета ФТФ №14 от 03.07.2021
9	Раздел V	Обновлен перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины	Протокол Совета ФТФ №14 от 03.07.2021